УДК 621.314.6

МНОГОФАЗНЫЙ КОНВЕРТОР МОЩНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Л.А. Белицкая

ФГУП «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск
E-mail: polus@online.tomsk.net

Показана возможность реализации мощных многофазных конверторов, ключевые элементы которых управляются импульсами с равномерным фазовым сдвигом по времени и цифровым кодом задания скважности.

В преобразовательной технике широко используется параллельное подключение отдельных элементов (транзисторов, диодов, дросселей). Этим достигается увеличение нагрузочной способности элементов и устройств, повышение надежности за счет введения незначительной избыточности. Логическим продолжением однофазной структуры преобразователя, выполненного из однотипных устройств, является переход к многофазной структуре. Здесь наряду с указанными возможностями параллельного включения дополнительно появляется возможность уменьшить объем и массу сглаживающих фильтров за счет увеличения частоты преобразования, уровень помех и амплитуду пульсаций коммутируемого тока.

Основные сложности практической реализации многофазных конверторов возникали из-за несовершенства аналоговых систем управления, которые не давали гарантии стабильности и равенства многофазных сигналов, управляющих переключением силовых элементов конвертора. Только применение цифровых методов формирования многофазных сигналов позволило решить эту задачу, в которой организуется равномерный временной сдвиг между фазами [1], работающими на общую нагрузку.

В технической литературе описаны схемы параллельного включения преобразовательных ячеек, коммутируемых с фазовым сдвигом во времени: восьмифазный импульсный стабилизатор постоянного напряжения, характеризуемый неидентичностью сигналов управления фазами [2]; схема шестнадцатифазного импульсного стабилизатора постоянного напряжения, недостатком которой являются большие массогабаритные показатели [3].

На рис. 1 представлена схема силовой ячейки одной фазы шестнадцатифазного конвертора напряжения, технические характеристики которого приведены в табл. 1.

Схема управления построена с использованием цифроаналогового преобразователя с многофазными выходными сигналами управления, что обеспечивает равномерный фазовый сдвиг во времени импульсов управления с цифровым заданием скважности [4]. Схема содержит задающий генератор тактовых импульсов, двоичный счетчик, сумматор, преобразователи кода и логический блок. При подаче напряжения питания включается задающий генератор; двоичный счетчик вырабатывает сигналы, которые поступают на первый вход сумматора. Изменение скважности многофазного сигнала происходит заданием цифрового кода на второй вход сумматора схемой управления. Система регулирования организована так, что сигналы задания скважности инвариантны от напряжения питания и текущей скорости вращения ротора.

Результат суммирования и старшие разряды двоичного счетчика преобразовываются в систему многофазных сигналов. В логическом блоке, который представляет собой набор мажоритарных элементов, формируются многофазные сигналы управления силовыми ключами. Сдвинутые по фазе в цифроаналоговом преобразователе сигналы управления поступают на драйверы ключей. Ключи включаются в фиксированные интервалы времени. По сигналу управления меняется скважность импульсов на открытие ключей от закрытого состояния до полного включения. Коммутация одного ключа отстает от коммутации последующего на время, равное T/m, где $T=t_{откл}+t_{вкл}$ – период коммутации каждого ключевого элемента; $t_{откл}$, $t_{вкл}$ – время выключенного и включенного состояний транзистора.

Таблица 1. *Технические характеристики конвертора*

Входное напряжение, В	24...34
Выходное напряжение, В	0...27
Ток нагрузки, А	300
Рабочая частота ячейки, кГц	10
Число фаз	16
Выходная частота, кГц	160
Уровень пульсаций, мВ	<200
КПД, %	≥91
Масса, кг	3,0
Объем, л	5,0

Для увеличения мощности импульсных сигналов управления силовыми элементами многофазного конвертора применяется специальный усилитель – драйвер. Он обеспечивает уровни сигналов управления таким образом, чтобы потери мощности в выключенном и открытом состоянии ключа, а также в динамических режимах переключения были минимальны. Драйвер реализован на таймере DA1 М1006ВИ1 (рис. 1). Сигналы управления по витой паре проводов поступают на входы 1, 3 таймера. Транзисторы VT1, VT2 – комплементарная пара для умощнения выходного каскада. С резисторов R1, R2 сигналы управления поступает на за-

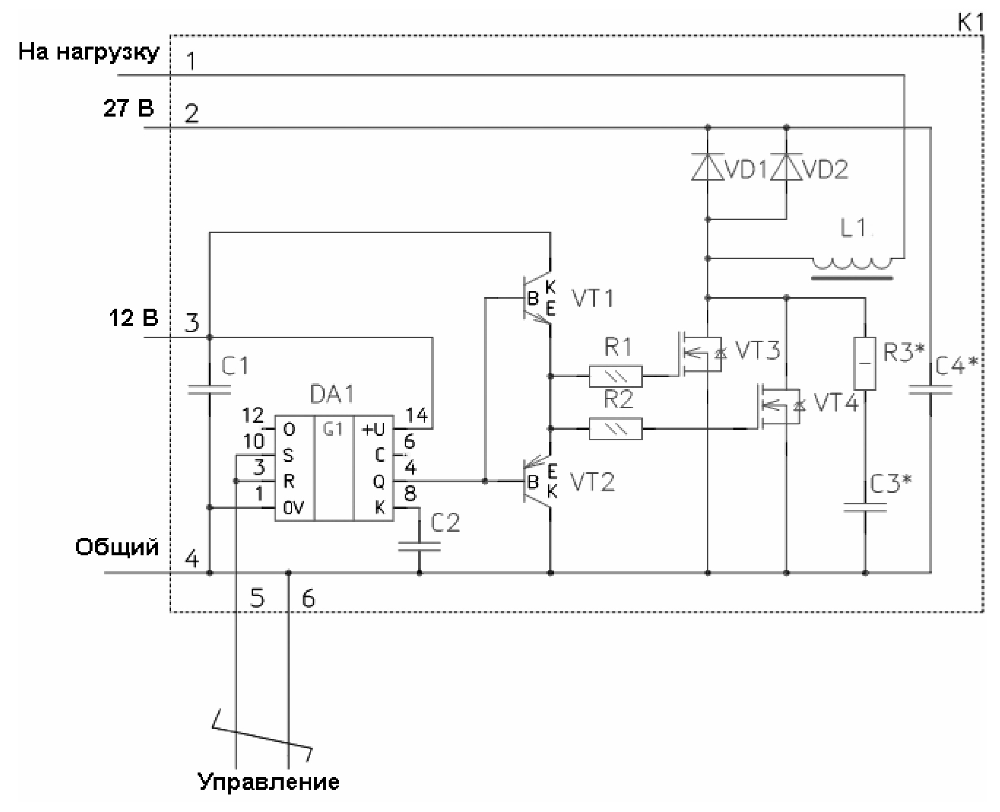


Рис. 1. *Принципиальная схема силовой ячейки*

творы полевых транзисторов VT3 и VT4. Для защиты силовых ключей от коммутационных перенапряжений в цепи сток-исток использованы снабберные RC-цепи (на рис. 1 – R3*, C3*), которые устанавливают на силовых выводах транзисторов. Для сглаживания тока в цепи нагрузки в каждой фазе устанавливают дроссели L1. Они выбираются из условия ограничения тока через транзистор, а сечение провода рассчитывается на 6 %-ый номинальный ток нагрузки. Обычно полагают параметры разделительных дросселей во всех фазах одинаковыми.

При проектировании мощных полупроводниковых устройств важными характеристиками являются: геометрические размеры, объем, масса, теплоотвод, надежность. Для данного конвертора по критерию миниатюризации также решалась задача соединения модулей ячеек между собой и с блоком управления кратчайшим путем проводниками равной длины.

Особенность конструкции данного конвертора заключается в том, что он выполнен с возможностью пристраивания к двигателю (рис. 2). Вентиляционную систему охлаждения двигателя можно задействовать и для охлаждения элементов силовой части.

Анализ различных вариантов построения многофазного конвертора привел к следующим конструктивным решениям:

- силовая часть конвертора разделена на 16 взаимозаменяемых модулей, каждый из которых является силовой преобразовательной ячейкой;
- все модули располагаются по окружности, что обеспечивает их симметрию относительно друг друга и равную длину всех подводящих проводников (питание, управление), линий связей до всех ключей;
- схема управления вместе с источниками питания выполнена в виде отдельного субблока;
- элементы выходного фильтра распределены по фазам и конструктивно входят в модули силовых ячеек.

Из анализа табл. 2 следует, что можно обеспечить плавное изменение напряжения на двигателе под управлением конвертора, как при включении двигателя, так и в режиме нарастания мощности. Это ограничивает бросок пускового и рабочего тока.

Таблица 2. *Значения тока потребления от питающей сети $I_{потр.сети}$ и выходного тока $I_{вых}$ от напряжения на двигателе $U_{дв}$*

$I_{потр.сети}$, А	9,3	21,3	31,3	42,0	56,6	75,0	94,0	118,6	140,0	166,6
$I_{вых}$, А	51	80	102	121	140	160,4	180	203	221	241
$U_{дв}$, В	3,8	6	6,8	7,6	8,8	10,2	11,4	13,2	13,8	15

Таким образом, разработанный многофазный конвертор позволяет производить включение дви-

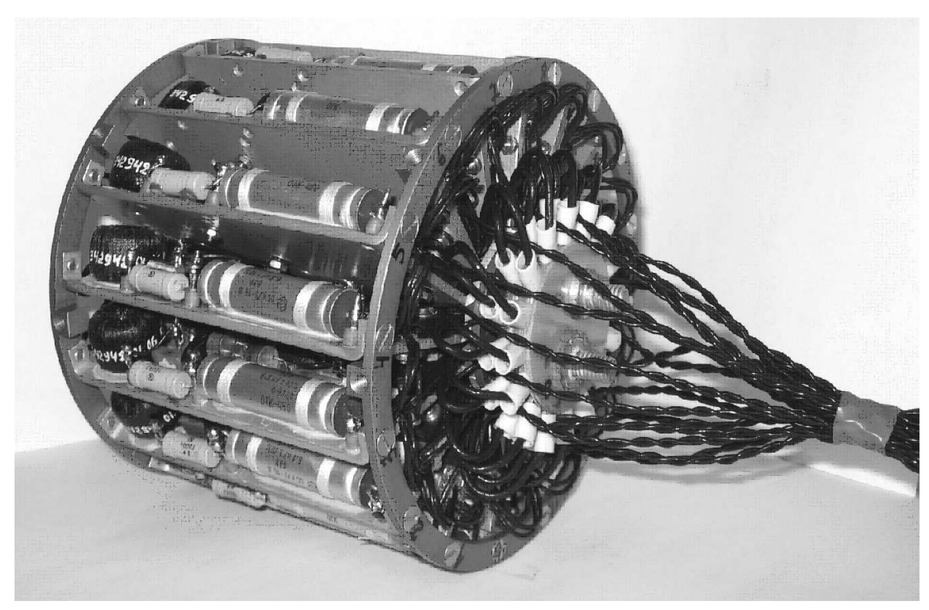


Рис. 2. Силовая часть конвертора

гателя при значительно сниженных пусковых токах, обеспечивая плавный разгон. Высокая надежность конвертора обеспечивается модульной структурой и функциональной независимостью отдельных фаз. При выходе из строя одной-двух силовых преобразовательных ячеек он сохраняет работоспособность, хотя при этом возрастает уровень пульсаций выходного напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочергин В.И. Теория многомерных цифро-векторных множеств в приложениях к электроприводам и системам электропитания. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 444 с.
2. Юрченко А.И. Многофазный импульсный стабилизатор постоянного напряжения на высоковольтных транзисторах / Электронная техника в автоматике. Сб. ст. под ред. Ю.И. Конева. В. 9. – М.: Советское радио, 1977. – С. 56–60.
3. Юрченко А.И., Головацкий В.А., Брагин В.П. и др. Многофазный импульсный стабилизатор постоянного напряжения / Электронная техника в автоматике. Сб. ст. под ред. Ю.И. Конева. В. 10. – М.: Советское радио, 1978. – С. 107–113.
4. А.с. 1356225 СССР. МКИ^4 Н03М 1/82. Цифро-аналоговый преобразователь с многофазным выходом / В.И. Кочергин. Заявлено 20.09.85; Опубл. 30.11.87, Бюл. № 44. – 6 с.: ил.